

# 地震被害を受けた鉄筋コンクリート造建築物の残存耐震性能評価

著者	康 大 彦
号	3246
発行年	2003
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8518">http://hdl.handle.net/10097/8518</a>

氏 名	かん で おん 康 大 彦
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市・建築学専攻
学 位 論 文 題 目	地震被害を受けた鉄筋コンクリート造建築物の残存耐震性能評価
指 導 教 官	東北大学教授 井上 範夫
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 井上 範夫      東北大学教授 杉村 義広 東北大学教授 源栄 正人      東北大学助教授 前田 匡樹

## 論 文 内 容 要 旨

地震被害を受けた鉄筋コンクリート造建築物の残存耐震性能を正確に評価するのは、復旧や余震などに対する安全性を確認するのに非常に重要で、日本では日本建築防災協会の「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧指針」（以下、被災度判定基準）に基づき、部材の損傷度に応じた耐震性能低減係数  $\eta$  を用いて残存耐震性能を評価し、震災建築物の被災度判定を行うことになっている。その耐震性能低減係数  $\eta$  は、RC 部材の静的漸増載荷実験からの荷重変形関係を正側の片押し of 包絡線に単純化したループの面積で定義されているため、正負繰り返し応答変形が生じる実際の地震荷重を受けた構造物の残存耐震性能を正確に評価しているとは言えない。そこで、本研究では残存耐震性能を入力地震波の倍率の比率（以下、残存耐震性能率  $R_{dyn}$ ）で定義し、その定義に基づいた擬似動的実験と地震応答解析で被災度判定基準の耐震性能低減係数  $\eta$  の妥当性を検証するとともに、各損傷度における残存耐震性能を提案した。解析を行う時用いた履歴モデルは、耐力低下やスリップの影響を考慮できるモデルで、Takeda Slip モデルを基本とし修正提案した。また、サブストラクチャー擬似動的実験からの残存耐震性能率  $R_{dyn}$  と解析から提案したものと比較を行い、提案した各損傷度における残存耐震性能の妥当性を検証した。以下に本研究により得られた結果を示す。

第 1 章「序論」では、地震被害を受けた建築物の残存耐震性能の評価を正確にするのが重要であることと、現在使われている被災度判定基準の問題点を背景にし、今までの研究をまとめて問題点を

把握、指摘し、研究の方法および目的をまとめた。

第2章「RC 造柱部材の擬似動的実験および静的実験」では、被災度判定基準の部材の耐震性能低減係数  $\eta$  の妥当性を検討した。被災度判定基準の部材の耐震性能低減係数  $\eta$  は、RC 部材の静的実験からの荷重変形関係を正側の片押しの包絡線に単純化したループの面積で定義しており、正負繰り返し応答変形が生じる実際の地震荷重を受けた構造物の残存耐震性能を正確に評価しているとは言えないので、この妥当性の検証が必要と考えられる。また、地震被害を受けた鉄筋コンクリート造部材の残存耐震性能を地震動の入力レベルで評価する方法を実験的に検証するのが必要と考えられる。そこで、建築基準法の限界耐力計算法に基づいて作成した模擬地震波を入力波として RC 造の4階建て建物の1階柱（腰壁垂れ壁付き）を想定し擬似動的実験を行った。また、同じ試験体について静的漸増載荷実験も行い、柱の最大応答と残留ひび割れ幅などの損傷状況の関係を検討し、擬似動的実験結果と比較した。さらに、地震波の入力倍率を決めるため行った予備応答解析結果と比較を行った。その結果、擬似動的実験と静的実験からのひび割れ幅は同部材角でほぼ同じひび割れ幅で、部材の損傷度と残存耐震性能をあらわす耐震性能低減係数  $\eta$  の関係は、実地震波による不規則な変位履歴を経験した構造物の被災度の評価にも概ね適用が可能であることを確認した。また、被災度判定基準のせん断柱の耐震性能低減係数  $\eta$  は、せん断で破壊した本実験から得た残存耐震性能率  $R_{dyn}$  を低めに評価していることを確認した。

第3章「1 質点系地震応答解析による残存耐震性能の評価」では、1 質点系地震応答解析を行い残存耐震性能の提案を行った。入力地振動のレベルの比率で定義される残存耐震性能率  $R_{dyn}$  の定義に基づいた第2章の柱部材の擬似動的実験からは、被災度判定基準の部材の耐震性能低減係数  $\eta$  は、正負繰り返し応答変形が生じる実際の地震荷重を受けた構造物の残存耐震性能を低めに評価していることを確認した。しかしながら、実験では限られた周期の建物ケースに、限られた地震波の入力しかできなかったため、本章では、残存耐震性能率の定義に基づき地震被害を受けた RC 造建物の残存耐震性能の評価において各損傷度における残存耐震性能がどの程度であるかという一般性を立てることを目的に、履歴モデル、弾性周期、荷重変形と損傷度関係モデル、地震波をパラメータとし1 質点系地震応答解析を行った。解析モデルはピロティ建物を想定し、2 階以上は剛と仮定し1 階柱の損傷がそのまま建物全体の損傷になる場合を対象とし、建物の弾性周期が異なる7 ケー

ス（0.2～1.0 秒）に観測波 4 波、模擬地震波 10 波合計 14 波を入力した。履歴モデルとしては、既存の Takeda モデルと Takeda Slip モデルに、著者が Takeda Slip モデルを基に耐力低下およびスリップの影響を考慮できるモデルを修正提案したモデルを用いた。また、荷重変形と損傷度関係モデルとしては一般的に考えられる 3 種類のモデルを設定し解析を行った。その結果、Takeda モデルと Takeda Slip モデルを用いると、耐力低下やスリップの影響を考慮した履歴モデルを用いたより建物の限界地震波倍率を高く評価する可能性があると考えられる。逆転するところもあるが、荷重変形と損傷度関係モデルの曲げ型より曲げせん断型が、曲げせん断型よりせん断型の方が各損傷度における残存耐震性能率  $R_{dyn}$  が低く評価している。各損傷度における残存耐震性能率  $R_{dyn}$  は、同じ弾性周期では地震波によって異なり、特定の弾性周期で最も低い値を地震波が存在している。これは変位応答スペクトルにおいて変位の変化つまり速度と関係する地震波の性質で起因したと考えられる。被災度判定基準の耐震性能低減係数  $\eta$  と比較すると、残存耐震性能率  $R_{dyn}$  は各損傷度において広い範囲で分布している。また、損傷度ⅠとⅡにおいては、耐震性能低減係数  $\eta$  は残存耐震性能率  $R_{dyn}$  より高く評価している場合もあるが概ね  $R_{dyn}$  の下限値と一致する。また、損傷度ⅢとⅣにおいては、残存耐震性能率  $R_{dyn}$  のほとんどが耐震性能低減係数  $\eta$  より高く評価していることを確認した。短波における残存耐震性能率  $R_{dyn}$  は、長波より各損傷度において広い範囲で分布しているが、平均値や平均値-2\*標準偏差から見ると短波と長波の各損傷度における残存耐震性能率  $R_{dyn}$  はあまり差がないことを確認した。解析データから曲げ型を曲げ部材として、曲げせん断型とせん断型をせん断部材として扱い、平均値から標準偏差の 2 倍を引いた値で提案した。曲げ部材に置いては損傷度Ⅰで 0.83、損傷度Ⅱで 0.68、損傷度Ⅲで 0.61、損傷度Ⅳで 0.43、せん断部材に置いては損傷度Ⅰで 0.84、損傷度Ⅱで 0.70、損傷度Ⅲで 0.54、損傷度Ⅳで 0.38 として各損傷度において残存耐震性能を提案した。

第 4 章「4 質点系サブストラクチャー擬似動的実験による残存耐震性能の検証」では、4 階建て RC 造建物を想定し 1 階柱について残存耐震性能率  $R_{dyn}$  の定義に基づいたサブストラクチャー擬似動的実験を行い、第 3 章で提案した残存耐震性能の検証を行った。第 2 章では 4 階建物を 1 質点系とした擬似動的実験で残存耐震性能の評価を行ったことに対して、本章では 4 階建物を 4 質点系とし、1 階を実験部分、2～4 階を解析部分としたサブストラクチャー擬似動的実験で残存耐震性能の検証した。入力地震波としては Kobe NS 成分から主要動 20 秒を抜き出して使用した。また、最大応

答と残留ひび割れ幅などの損傷状況の関係を検討し、同じ試験体について行われた静的漸増載荷実験結果と比較した。さらに、地震波の入力倍率を決めるため行った4質点系の予備応答解析結果と比較した。その結果、サブストラクチャー擬似動の実験と静的実験からのひび割れ幅は同部材角でほぼ同じひび割れ幅で、部材の損傷度と耐震性能低減係数 $\eta$ の関係は、実地震波による不規則な変位履歴を経験した構造物の被災度の評価にも概ね適用が可能であることを再確認した。また、本実験結果からの残存耐震性能率  $R_{dyn}$  と比較検証した結果、第3章で解析からの各損傷度における残存耐震性能は妥当であることを確認した。

# 論文審査結果の要旨

地震により被災した建築物の余震に対する安全性や、復旧可能性を判断するためには、被災した建物の被害の程度を正確かつ定量的に評価することが重要である。本研究では、鉄筋コンクリート柱部材の擬似動的実験および1質点系の地震応答解析を行い、被災した鉄筋コンクリート造建築物の残存耐震性能について検討し、評価法を提案したもので、全5章からなっている。

第1章は序論である。

第2章では、実大の鉄筋コンクリート柱の部材実験を行い、ひび割れなどの損傷状況と残存耐震性能について検討し、「震災建築物の被災度区分判定基準」(日本建築防災協会)の妥当性を検証している。柱部材の静的漸増载荷実験および地震時の動的応答を再現した擬似動的実験により、残留ひび割れ幅などの損傷の進展状況は、静的と動的挙動はほぼ同様で経験した最大応答変形に比例して増加することを確認した。また、無損傷時に対する損傷後の限界地震動大きさの比率に基づいて残存耐震性能率  $R$  を評価する方法を提案し、擬似動的実験結果から残存耐震性能率  $R$  を求め、「被災度区分判定基準」で提案されている数値が、概ね妥当であることを明らかにしている。

第3章では、1階柱に応答変形が集中するピロティ建物を想定した1質点系の地震応答解析を行い、第2章で定義した残存耐震性能率  $R$  の一般的な適用性を検討している。鉄筋コンクリート柱部材について塑性変形の進展に伴う耐力低下やエネルギー吸収能力の劣化性状を正確に模擬するために、応答解析では耐力低下および指向点の移動を考慮した新しい履歴モデルを開発し、Takeda モデルなどの既往の履歴モデルによる解析結果と比較することで、特に脆性部材では耐力低下や指向点移動の影響が顕著であり無視できないことを示した。柱部材の塑性変形能力や構造物の固有周期、入力地震動をパラメータとした1質点系の地震応答解析結果から残存耐震性能率  $R$  を評価した結果、残存耐震性能率  $R$  は各地震動の変位応答スペクトルの勾配と相関関係があることを指摘し、また、それらのばらつきの影響を考慮しても、「被災度区分判定基準」による残存耐震性能率は、周期1秒程度までの中低層鉄筋コンクリート造建物に対して概ね安全側に適用できることを明らかにしている。

第4章では、4階建鉄筋コンクリート造純ラーメン建物を対象としたサブストラクチャ擬似動的実験を行い、第3章まで示した評価法の多自由度系に対する適用性を検証している。4階建建物の1階中柱を模擬した実大柱試験体を用い、2階から上層を質点系にモデル化して、サブストラクチャ擬似動的実験を行った。試験体が3体と限られたケースではあるが、第3章までに得られた結論が、多自由度である実構造物に対しても十分に適用可能であることを示している。

第5章は結論である。

以上のように本論文は、地震により被災した鉄筋コンクリート造建築物の残存耐震性能の評価法を示してその妥当性を検証したものであり、被災建築物の合理的な震災復旧のための基礎資料を提供しており、建築構造学ならびに地震工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。